

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-198923

(43)Date of publication of application : 31.07.1998

(51)Int.Cl.

G11B 5/39

(21)Application number : 08-349774

(71)Applicant : TOSHIBA CORP  
TDK CORP

(22)Date of filing : 27.12.1996

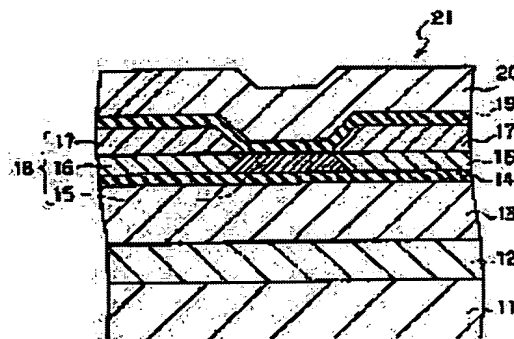
(72)Inventor : SAITO KAZUHIRO  
FUKUYA HIROMI  
IWASAKI HITOSHI  
KAMIGUCHI YUZO  
SAHASHI MASASHI  
KAWASHIMA HIROAKI  
OIKE TARO  
TERUNUMA KOICHI  
MORITA HARUYUKI

## (54) MAGNETO RESISTIVE EFFECT HEAD

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve film characteristics such as soft magnetism and interlayer coupled magnetic field, etc., of a giant magnetoresistive effect film even on a magnetic shield layer consisting of a crystal soft magnetic film with large surface ruggedness, by making the central period of the surface ruggedness of the substrate surface of the giant magnetoresistive effect film having a sandwich film of a three layer structure within a specified range.

SOLUTION: The giant magnetoresistive effect film (GMR film) is formed on a lower side magnetic shield layer 13 through a lower side magnetic gap film 14. Then, the surface of the lower side magnetic gap film 14 becomes the substrate of the giant magneto resistive effect film 15, and even when the ruggedness of this surface is large, by properly controlling a film forming condition, etc., and making the central period L of the surface ruggedness  $L > 70\text{nm}$ , an effect of individual ruggedness for the giant magnetoresistive effect film 15 is reduced. The substrate surface of the giant magnetoresistive effect film 15 is preferred that the  $R_{\text{max}}$  of the surface ruggedness is  $5\text{nm} < R_{\text{max}} \leq 50\text{nm}$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

18.11.2003

[Date of sending the examiner's decision of

rejection]

[Kind of final disposal of application other than  
the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of  
rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-198923

(43) 公開日 平成10年(1998) 7月31日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

G 1 1 B 5/39

識別記号

F I

G 1 1 B 5/39

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平8-349774

(22) 出願日 平成 8 年(1996) 12月27日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(71) 出願人 000003067

ティーディーケー株式会社

東京都中央区日本橋1丁目13番1号

(72) 発明者 斉藤 和浩

神奈川県川崎市幸区堀川町72 株式会社東

芝川崎事業所内

(72) 発明者 福家 ひろみ

神奈川県川崎市幸区堀川町72 株式会社東

芝川崎事業所内

(74) 代理人 弁理士 須山 佐一

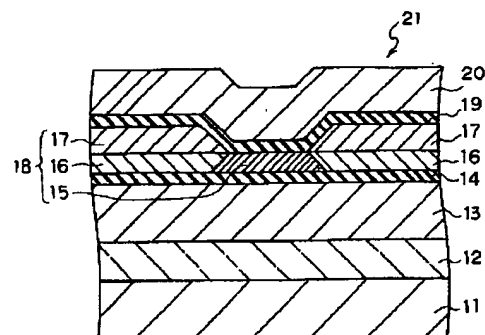
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果ヘッド

(57) 【要約】

【課題】 結晶性軟磁性膜を磁気シールド層として用いたGMRヘッドにおいて、GMR膜の下地表面の表面凹凸が大きい場合であっても、GMR膜の軟磁性の劣化や層間結合磁界の増大等を抑制する。

【解決手段】 電流を供給する一対のリード17が設けられたGMR膜15を、磁気ギャップ膜13、19を介して結晶性軟磁性膜からなる上側および下側磁気シールド層13、20で挟持したシールド型GMRヘッド21である。GMR膜15の下地表面は、表面凹凸周期の中心周期LがL>70nmとされている。



(2)

特開平10-198923

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 巨大磁気抵抗効果膜と、前記巨大磁気抵抗効果膜に電流を供給する一対のリードと、磁気ギャップ膜を介して前記巨大磁気抵抗効果膜を挟持するように配置され、結晶性軟磁性膜からなる上側および下側磁気シールド層とを具備する磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記巨大磁気抵抗効果膜の下地表面は、表面凹凸の中心周期 $L$ が $L > 70\text{nm}$ であることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項2】 請求項1記載の磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記結晶性軟磁性膜は、Fe-Al-Si系合金からなることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項3】 請求項1記載の磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記巨大磁気抵抗効果膜は、強磁性膜/非磁性膜/強磁性膜のサンドイッチ膜を有することを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項4】 請求項1記載の磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記巨大磁気抵抗効果膜の下地表面は、表面凹凸の $R_{\text{max}}$ が $5\text{nm} < R_{\text{max}} \leq 50\text{nm}$ であることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、シールド型の磁気抵抗効果ヘッドに関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、磁気記録の高密度化が進み、例えばHDDでは $1\text{Gb/inch}^2$ というような高記録密度システムが実用化されており、またさらなる高記録密度化が望まれている。このような高記録密度システムにおける再生ヘッドとしては、再生感度の向上の観点から、磁性薄膜や磁性多層薄膜等の電気抵抗が外部磁界によって変化するという、磁気抵抗効果を利用した磁気抵抗効果ヘッド（以下、MRヘッドと記す）が注目されている。

【0003】図5に従来の一般的なシールド型MRヘッドの構成例を示す。同図において、1は $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiC}$ 等からなる基板であり、この基板1上には $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等からなる絶縁層2を介して、センダストやパーマロイ等の結晶性軟磁性膜、あるいは $\text{CoZrNb}$ 合金等のアモルファス軟磁性膜からなる下側磁気シールド層3が形成されている。

【0004】下側磁気シールド層3上には、再生磁気ギャップを構成する絶縁膜4を介して磁気抵抗効果膜（MR膜）5が形成されており、このMR膜5の両端に一対のリード6が形成されて磁気抵抗効果素子部（MR素子部）7が構成されている。MR素子部7上には、再生磁気ギャップを構成する絶縁膜8を介して、下側磁気シールド層3と同様な軟磁性膜からなる上側磁気シールド層

9が形成されている。このようなシールド型MRヘッドにおける信号磁界の検出は、例えば一対のリード6にセンス電流を流し、MR膜5の平均磁化方向の変化に伴う電気抵抗の変化を測定することにより行われる。

【0005】ところで、MR膜については、磁気抵抗変化率（MR変化率）が3%を超える巨大磁気抵抗効果（以下、GMRと記す）の実用化が進められており、特に強磁性膜/非磁性膜/強磁性膜構造のサンドイッチ膜を有するスピンバルブタイプのGMR膜が注目されている。スピンバルブタイプのGMR膜では、一方の強磁性膜を反強磁性膜等と積層して交換結合を生じさせ、当該強磁性膜の磁化をピン止めすると共に、他方の強磁性膜の磁化方向を外部磁界（信号磁界）で変化させることによりGMRを得ている。

【0006】しかし、上記したようなGMR膜は、各構成膜の厚さが数nm程度と薄いことから、下地表面の表面凹凸の影響を受けて特性が低下しやすいという問題を有している。特に、磁気シールド層に現行のMRヘッドで主に実用化されているセンダストやパーマロイ等の結晶性軟磁性膜を用いた場合には、結晶粒の成長に伴って表面凹凸が発生しやすいことから、この磁気シールド層の表面凹凸の影響を受けて、GMR膜の特性が低下しやすいという問題がある。

【0007】具体的には、スピンバルブタイプのGMR膜のいわゆる磁化フリー層は軟磁性が必要とされるが、下地の表面凹凸によりGMR膜の困難軸方向の保磁力 $H_c$ が大きくなって軟磁性が劣化する。このGMR膜の軟磁性の劣化は、バルクハウゼンノイズの発生原因となる。また、上記した下地表面の凹凸を反映してGMR膜の各構成膜の表面凹凸が大きくなると、GMR膜内の界面凹凸による形状効果により静磁結合が強まり、層間結合磁界 $H_{in}$ が増大してしまう。層間結合磁界 $H_{in}$ が増大すると、MRヘッドの動作が不安定になるという問題が生じる。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、スピンバルブタイプ等のGMR膜は、構造的に大きなMR変化率が得られることから期待されているものの、現行のMRヘッドで主に実用化されているセンダストやパーマロイ等の結晶性軟磁性膜を磁気シールド層として用いた場合、その表面凹凸を小さくすることは困難であるため、GMR膜の軟磁性の劣化や層間結合磁界の増大等が起こり、GMRヘッドとしての特性が低下しやすいという問題があった。

【0009】このようなことから、結晶性軟磁性膜を磁気シールド層として用いたGMRヘッドでは、GMR膜の下地表面の表面凹凸が大きい場合においてもGMR膜の軟磁性の劣化や層間結合磁界の増大等を抑制することによって、良好な特性を再現性よく得られるようにすることが課題とされている。

(3)

特開平10-198923

【0010】本発明は、このような課題に対処するためになされたもので、表面凹凸が大きい結晶性軟磁性膜を磁気シールド層として用いた場合におけるGMR膜の軟磁性の劣化や層間結合磁界の増大等を抑制し、動作特性等の向上を図った磁気抵抗効果ヘッドを提供することを目的としている。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明の磁気抵抗効果ヘッドは、請求項1に記載したように、巨大磁気抵抗効果膜と、前記巨大磁気抵抗効果膜に電流を供給する一対のリードと、磁気ギャップ膜を介して前記巨大磁気抵抗効果膜を挟持するように配置され、結晶性軟磁性膜からなる上側および下側磁気シールド層とを具備する磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記巨大磁気抵抗効果膜の下地表面は、表面凹凸の中心周期 $L$ が $L > 70\text{nm}$ であることを特徴としている。

【0012】結晶性軟磁性膜からなる磁気シールド層では、表面凹凸を小さくすることが非常に困難であり、このような磁気シールド層上に磁気ギャップ膜を形成することで、多少表面凹凸が緩和される場合があるものの、巨大磁気抵抗効果膜の下地表面には $R_{\text{max}} > 5\text{nm}$ の表面凹凸が必然的に生じてしまう。このような $R_{\text{max}}$ が大きい下地表面であっても、表面凹凸の周期を大きくすることによって、具体的には凹凸周期の中心周期 $L$ を $L > 70\text{nm}$ と伸ばすことによって、個々の凹凸の巨大磁気抵抗効果膜に対する影響を小さくすることができる。これによって、巨大磁気抵抗効果膜の軟磁性の劣化や層間結合磁界 $H_{\text{in}}$ の増大等を抑制することが可能となる。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明を実施するための形態について、図面を参照して説明する。

【0014】図1は、本発明の一実施形態による巨大磁気抵抗効果を示す磁気抵抗効果ヘッド（GMRヘッド）の構成を示す断面図である。同図において、11は $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiC}$ 等からなる基板であり、この基板11上には $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等からなる絶縁層12を介して、結晶性軟磁性膜からなる下側磁気シールド層13が形成されている。この下側磁気シールド層13を構成する結晶性軟磁性膜としては、 $\text{Fe}-\text{Al}-\text{Si}$ 系合金膜（センダスト等）や $\text{Fe}-\text{Ni}$ 系合金膜（パーマロイ等）等が用いられる。

【0015】上記した下側磁気シールド層13上には、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等の非磁性絶縁材料からなる下側磁気ギャップ膜14を介して、所望形状の巨大磁気抵抗効果膜（GMR膜）15が形成されている。GMR膜15としては、強磁性膜／非磁性膜／強磁性膜のサンドイッチ膜を有し、これら強磁性膜間の磁化の成す角度に依存して電気抵抗が変化するスピンバルブ膜、あるいは強磁性膜と非磁性膜との多層積層膜を有し、GMRを示す人工格子膜等が例示されるが、特に図2や図3に構成を示すスピ

ンバルブ膜が好ましく用いられる。スピンバルブ膜については、後に詳述する。

【0016】この実施形態のGMRヘッドにおいては、下側磁気ギャップ膜14の表面がGMR膜15の下地となり、この下地表面の表面凹凸周期の中心周期 $L$ が $L > 70\text{nm}$ とされている。このように、GMR膜15の下地表面の表面凹凸の $R_{\text{max}}$ が $R_{\text{max}} > 5\text{nm}$ と大きい場合においても、表面凹凸の周期を伸ばすことによって、具体的には中心周期 $L$ を $L > 70\text{nm}$ とすることによって、表面凹凸がGMR膜15に及ぼす悪影響を小さくすることができる。すなわち、下地表面の表面凹凸の周期を伸ばすことによって、GMR膜15に対する個々の凹凸の影響を小さくすることができるため、GMR膜15の軟磁性の劣化や層間結合磁界の増大等を抑制することが可能となる。

【0017】上述したように、下地表面の表面凹凸周期の中心周期 $L$ を $L > 70\text{nm}$ とすることで、GMR膜15に及ぼす悪影響を低減することができる。ただし、表面凹凸の $R_{\text{max}}$ があまり大きすぎると、凹凸周期を伸ばしてもGMR膜15に対する影響を抑制することができなくなるため、表面凹凸の $R_{\text{max}}$ は $50\text{nm}$ 以下とすることが好ましい。

【0018】ここで、本発明における表面凹凸は、例えば原子間力顕微鏡（AFM）、透過型電子顕微鏡（TEM）、高分解能走査型電子顕微鏡（高分解能SEM）等で、下地表面（この実施形態では下側磁気ギャップ膜14の表面）の表面凹凸を所定範囲について測定し、その測定範囲から通常の方法で $R_{\text{max}}$ を決定する。中心周期 $L$ は、以下に示す方法で決定した。まず、上記測定範囲について凹凸の周期（ $L'$ ）に対応する周波数分析を行う。周波数（凹凸の周期 $L'$ ）とそれに対する存在確率を示すスペクトル密度とを用いて、例えば図4に示すような分布曲線を作成し、スペクトル密度が最大となる周波数、すなわち凹凸の周期 $L'$ を、本発明における中心周期 $L$ とする。

【0019】上記したGMR膜15の下地表面の表面凹凸（ $R_{\text{max}}$ ）およびその周期（中心周期 $L$ ）は、基本的には結晶性軟磁性膜からなる下側磁気シールド層13の表面凹凸を反映して形成されるものである。下側磁気シールド層13上に下側磁気ギャップ膜14を形成することで、多少表面凹凸が緩和される場合もあるが、基本的には下側磁気ギャップ膜14の表面、すなわちGMR膜15の下地表面には、下側磁気シールド層13の表面凹凸を反映して凹凸が生じる。従って、基本的には下側磁気シールド層13の成膜条件等を制御し、下側磁気シールド層13の表面凹凸（ $R_{\text{max}}$ ）およびその周期（中心周期 $L$ ）を適切な範囲とすることによって、GMR膜15の下地表面の凹凸周期の中心周期 $L$ を $L > 70\text{nm}$ とすることができる。

【0020】なお、下側磁気ギャップ膜14とGMR膜

(4)

特開平10-198923

15との間に他の層を介在させる場合には、直接GMR膜15の下地となる層の表面凹凸の中心周期 $L$ を上記範囲とすることによって、同様な効果を得ることができる。

【0021】上述したGMR膜15の幅方向両端部には、GMR膜15にバイアス磁界を付与するCoPt合金等からなる硬質磁性膜16がそれぞれ形成されており、これら硬質磁性膜16上にはGMR膜15の両端にそれぞれ硬質磁性膜16を介して電氣的に接続されたCu等からなる一対のリード17が電極として形成されている。この一対のリード17によりGMR膜15にセンス電流が供給される。これらGMR膜15、硬質磁性膜16および一対のリード17によりGMR素子部18が構成されている。

【0022】また、GMR膜15にバイアス磁界を付与する硬質磁性膜16は、予め下側再生磁気ギャップ14上に所望形状、すなわち磁界応答部形状に応じて形成しておいてもよい。このような場合には、一対の硬質磁性膜16上を含めて、下側再生磁気ギャップ14上にGMR膜15に形成し、その上に一対のリード17が形成される。

【0023】上述したようなGMR素子部18上には、 $Al_2O_3$ 等の非磁性絶縁材料からなる上側再生磁気ギャップ膜19が形成されている。さらにその上には、下側磁気シールド層13と同様な結晶性軟磁性膜からなる上側磁気シールド層20が形成されており、これらにより例えば再生ヘッドとして機能するシールド型GMRヘッド21が構成されている。

【0024】なお、結晶性軟磁性体からなる磁気シールド層13、20の厚さは1~4 $\mu m$ 程度とすることが好ましい。磁気シールド層13、20の厚さが1 $\mu m$ 未満であると、磁気シールド効果を十分に得ることができないおそれがあり、一方4 $\mu m$ を超えるとプロセスが困難となる。

【0025】図2に示したスピバルブ膜からなるGMR膜(スピバルブGMR膜)15について詳述すると、下側再生磁気ギャップ14上には強磁性膜151/非磁性膜152/強磁性膜153のサンドイッチ膜が形成されている。このサンドイッチ膜のうち、上側の強磁性膜153上には反強磁性膜154が積層形成されており、これらは交換結合膜を構成している。上側の強磁性膜153は上記した交換結合により磁化固着されたいわゆるピン層である。一方、下側の強磁性膜151は、信号磁界(外部磁界)により磁化方向が変化するいわゆるフリー層である。なお、ピン層とフリー層の位置は上下逆でもよい。

【0026】強磁性膜151、153には、Fe、Co、Niやこれらの合金を用いることができ、特にパーマロイ等のFe-Ni系合金、CoにFe、Ni、その他の元素を添加したCo系磁性合金等が好ましく用い

れる。Co系磁性合金に添加する元素としては上記したFeやNiの他に、Pd、Au、Ag、Cu、Pt、Ir、Rh、Ru、Os、Hf等の1種または2種以上を用いることができ、これら添加元素の量は5~50at%の範囲とすることが好ましい。強磁性膜151、153は、2種以上の強磁性膜の積層膜であってもよい。

【0027】また、強磁性膜151、153間に配置される非磁性膜152には、各種の導電性非磁性材料を使用することができるが、スピン依存散乱の大きいCuを用いることが好ましい。上側の強磁性膜153と交換結合膜を構成する反強磁性膜154には、例えばFeMn系合金、IrMn系合金等が用いられる。

【0028】強磁性膜151の下側には、図3に示すように、磁性もしくは非磁性の下地層155を設けてもよい。下地層155を設ける場合、スピバルブGMR膜15は下地層155を含むものがある。下地層155は、1種類の磁性膜または非磁性膜で構成してもよいし、また磁性膜と非磁性膜との積層膜や異なる種類の磁性膜の積層膜であってもよい。磁性下地層としては、アモルファス系軟磁性体やfcc結晶構造を有する軟磁性体、例えばNiFe合金、NiFeCo合金、これらに各種添加元素を添加した磁性合金等が用いられる。また、非磁性下地層としては、配向性を向上させるTaやZr等の非磁性金属膜が挙げられる。

【0029】上述した実施形態のGMRヘッド21においては、磁気シールド層13、20に結晶性軟磁性膜を用いているために、GMR膜15の下地表面(下側磁気ギャップ膜14の表面)の表面凹凸が $R_{max} > 5nm$ と大きくなることは避けられないものの、その表面凹凸の周期を伸ばすことによって、具体的には中心周期 $L$ を $L > 70nm$ とすることによって、表面凹凸がGMR膜15に及ぼす悪影響を小さくすることができる。従って、GMR膜15の軟磁性の劣化を抑制することができると共に、下側磁気シールド層13の表面凹凸に起因するGMR膜15内のピン層とフリー層の層間結合磁界 $H_{in}$ の増大を抑制することができる。

【0030】このように、GMR膜15は良好な軟磁性および適度な層間結合磁界を有していることから、この実施形態のGMRヘッド21は安定した動作特性が得られると共に、例えばバルクハウゼンノイズを抑制することができ、これらによって動作特性の向上を図ることが可能となる。また、表面凹凸の周期を伸ばすことによって、MR変化率を高めることもできる。すなわち、GMRヘッド21の感度の向上を図ることができる。このような感度の向上効果は、後述する実施例からも明らかのように、特に表面凹凸の中心周期 $L$ を $150nm < L < 300nm$ とすることによって、より良好に得ることができる。

【0031】

【実施例】次に、本発明の具体的な実施例について述べる。

(5)

特開平10-198923

## 【0032】実施例1、比較例1

図1に示したように、 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiC}$ 基板11上に $\text{Al}_2\text{O}_3$ 絶縁層12を介して、下側磁気シールド層13として厚さ $2.0\mu\text{m}$ の $\text{Fe}_{84.1}\text{Al}_{6.2}\text{Si}_{9.7}$ 結晶性軟磁性膜を形成した。この下側磁気シールド層13上に、厚さ $100\text{nm}$ の $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜からなる下側磁気ギャップ膜14を介して、スピンバルブGMR膜15を形成した。スピンバルブGMR膜15の構成は、 $\text{Ta}(5\text{nm})/\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(7\text{nm})/\text{Cu}(3\text{nm})/\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(7\text{nm})/\text{Fe}_{50}\text{Mn}_{50}$ とした。スピンバルブGMR膜15に対しては適切な熱処理を施した。

【0033】この実施例1では、 $\text{Fe}_{84.1}\text{Al}_{6.2}\text{Si}_{9.7}$ 膜をマグネトロンスパッタ法で成膜した。今回はRFスパッタを用いたが、DCスパッタでも可能である。パワー密度は $9.3\text{W}/\text{cm}^2$ の一定条件で成膜を行った。なお、パワー密度を減少させても周期を大きくすることができる。 $\text{Ar}$ 圧は $0.93\text{Pa}$ とした。

【0034】また、本発明との比較例1として、 $\text{Fe}_{84.1}\text{Al}_{6.2}\text{Si}_{9.7}$ 膜をRFマグネトロンスパッタ法で成膜する際の $\text{Ar}$ 圧を $1.33\text{Pa}$ とする以外は同様にし、スピンバルブGMR膜15まで成膜した。このように、 $\text{Fe}_{84.1}\text{Al}_{6.2}\text{Si}_{9.7}$ 膜を成膜する際の $\text{Ar}$ 圧(表1に記す)、基板加熱、ガス中の不純物( $\text{O}_2$ )濃度等の制御等の成膜条件を制御することにより、スピンバルブGMR膜15の下地表面の凹凸周期を制御した。なお、実施例1および比較例1において、 $\text{Fe}_{84.1}\text{Al}_{6.2}\text{Si}_{9.7}$ 膜のX線回折を行ったところ、いずれも(110)面の強い回折ピークがあり、結晶質になっていることを確認した。

【0035】次に、上記したスピンバルブGMR膜15の幅方向両端部に、 $\text{CoPt}$ 合金からなる硬質磁性膜16をそれぞれ形成し、さらに $\text{Cu}$ からなる一対のリード17を形成した。この上に $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜からなる上側磁気ギャップ膜19を形成し、さらにその上に厚さ $3.0\mu\text{m}$ の $\text{Fe}_{84.1}\text{Al}_{6.2}\text{Si}_{9.7}$ 膜からなる上側磁気シールド層20を形成して、シールド型GMRヘッド21を作製した。比較例1についても同様とした。

【0036】上述した実施例1および比較例1によるシールド型GMRヘッド21の製造工程において、下側磁気ギャップ膜14を形成した時点で、その表面凹凸をAFMでそれぞれ測定した。1回の掃引の測定範囲は $1\mu\text{m}$ とし、次の掃引はこの範囲から移動して、掃引の平均値を測定結果とした。これらの測定結果を周波数分析し、周波数(凹凸の周期 $L'$ )に対する存在確率を示すスペクトル密度により分布曲線を作成した。その結果を図4に示す。実施例1および比較例1共に正規分布的な曲線をなしている。図4から表面凹凸の中心周期 $L$ をスペクトル密度が最大となる周波数すなわち凹凸の周期 $L'$ として求めた。表面凹凸の中心周期 $L$ は、実施例1

では $80\text{nm}$ 、比較例1では $45\text{nm}$ であった。また、同一の測定範囲から表面凹凸の $R_{\text{max}}$ を求めたところ、いずれも $6.0\text{nm}$ であった。このように、 $\text{Fe}_{84.1}\text{Al}_{6.2}\text{Si}_{9.7}$ 膜の成膜条件を変えることによって、表面凹凸の $R_{\text{max}}$ は同一であっても、表面凹凸の周期(中心周期 $L$ )を制御することができる。

【0037】次に、上述した実施例1および比較例1によるシールド型GMRヘッド21において、スピンバルブGMR膜15の層間結合磁界 $H_{\text{in}}$ 、フリー層の困難軸の保磁力 $H_{\text{ch}}$ 、およびMR変化率を、それぞれ4端子法でR-H曲線を測定することによって求めた。その結果、比較例1では層間結合磁界 $H_{\text{in}}$ が $20\text{Oe}$ であったのに対して、実施例1では $11.5\text{Oe}$ まで改善された。また、フリー層の困難軸の保磁力 $H_{\text{ch}}$ も $2\text{Oe}$ から $0.30\text{Oe}$ まで改善された。MR変化率については $3.0\%$ から $3.5\%$ まで向上していた。

## 【0038】実施例2、3

上記実施例1において、 $\text{Fe}_{84.1}\text{Al}_{6.2}\text{Si}_{9.7}$ 膜を成膜する際の条件を変化させて、下側磁気ギャップ膜14表面の表面凹凸を、 $R_{\text{max}}=10.0\text{nm}$ 、凹凸周期の中心周期 $L=180\text{nm}$ (実施例2)、および $R_{\text{max}}=8.0\text{nm}$ 、凹凸周期の中心周期 $L=450\text{nm}$ (実施例3)とする以外は、それぞれ実施例1と同様にしてGMRヘッドを作製した。 $R_{\text{max}}$ および中心周期 $L$ は実施例1と同様にして求めたものである。

【0039】これらGMRヘッドの層間結合磁界 $H_{\text{in}}$ 、フリー層の困難軸の保磁力 $H_{\text{ch}}$ およびMR変化率を、実施例1と同様にして求めたところ、実施例2では $H_{\text{in}}=10.0\text{Oe}$ 、 $H_{\text{ch}}=0.2\text{Oe}$ 、実施例3では $H_{\text{in}}=9.0\text{Oe}$ 、 $H_{\text{ch}}=0.2\text{Oe}$ であった。また、MR変化率については、実施例2では $4.0\%$ と実施例1より増大していた。このように、スピンバルブGMR膜の下地表面の凹凸周期(中心周期 $L$ )を適切に選ぶことによって、GMRヘッドの感度を向上させることもできる。

## 【0040】実施例3～18、比較例2～6

GMR膜の構成をそれぞれ表1に示す構成とする以外は、それぞれ実施例1～3および比較例1と同様にしてGMRヘッドを作製した。これらについて、実施例1と同様にして $R_{\text{max}}$ および中心周期 $L$ を求めると共に、GMRヘッドのフリー層とピン層との層間結合磁界 $H_{\text{in}}$ 、フリー層の困難軸の保磁力 $H_{\text{ch}}$ およびMR変化率を実施例1と同様にして求めた。それらの結果を表1に示す。なお、磁気シールド層としての $\text{Fe}-\text{Al}-\text{Si}$ 系合金膜は組成が多少変動しても有効であり、また耐食性の向上のために $\text{Cr}$ 等を添加しても同様な効果が得られることが分かった。

## 【0041】

## 【表1】

(6)

特開平10-198923

	Fe-Al-Si膜 成膜条件	巨大磁気抵抗効果膜	φ <sub>膜</sub>	R <sub>max</sub>	R <sub>in</sub>	71-5 θHch	MR 割合
	Ar圧(Pa)		(nm)	(nm)	(Oe)	(Oe)	(%)
実施例 1	0.93	Ta(5nm)/Ni80Fe20(7nm)/Cu(3nm) /Ni80Fe20(7nm)/Fe50Mn50(10nm)	80	6.0	11.5	0.3	3.5
実施例 2	0.67		180	10.0	10.0	0.2	4.0
実施例 3	0.27		450	8.0	9.0	0.2	3.2
比較例 1	1.33		45	6.0	20.0	2.0	3.0
実施例 4	0.93	Ta(5nm)/Ni80Fe20(7nm)/Co(1nm) /Cu(3nm)/Co(3nm)/Fe50Mn50(10nm)	90	7.0	8.0	0.5	5.7
実施例 5	0.67		200	10.7	11.0	0.7	6.3
実施例 6	0.27		370	8.3	8.0	0.4	5.5
比較例 2	1.33		50	7.0	24.0	2.5	5.4
実施例 7	0.93	Ta(5nm)/Ni80Fe20(6nm)/Co90Fe10(3nm) /Cu(3nm)/Co90Fe10(2nm)/Fe50Mn50(15nm)	75	7.9	7.0	0.7	6.2
実施例 8	0.67		250	10.0	6.0	0.5	7.2
実施例 9	0.27		390	7.0	10.0	0.9	6.3
比較例 3	1.33		55	7.9	18.0	3.0	6.0
実施例10	0.93	Ta(5nm)/Ni80Fe20(6nm)/Co90Fe10(3nm) /Cu(3nm)/Co(2nm)/Ir25Mn75(6nm)	100	6.5	9.0	0.6	6.4
実施例11	0.67		220	11.0	10.0	0.6	7.0
実施例12	0.27		410	7.0	6.0	0.4	6.6
比較例 4	1.33		53	6.5	18.0	2.7	6.2
実施例13	0.93	Co87Zr5.5Nb7.5(10nm)/Ni80Fe20(2nm) /Co90Fe10(3nm)/Cu(3nm)/Co90Fe10(2nm) /Ir25Mn75(6nm)	80	8.0	15.0	0.2	7.2
実施例14	0.67		190	11.4	2.4	0.3	8.1
実施例15	0.27		420	7.3	1.5	0.2	7.4
比較例 5	1.33		35	8.0	3.5	3.2	7.0
実施例16	0.93	Co87Zr5.5Nb7.5(10nm)/Ni80Fe20(2nm) /Co90Fe10(3nm)/Cu(3nm)/Co90Fe10(2nm) /Fe50Mn50(15nm)	80	6.0	1.9	0.2	6.8
実施例17	0.67		210	12.0	3.6	0.2	7.6
実施例18	0.27		390	7.5	3.3	0.1	7.0
比較例 6	1.33		40	6.0	19.0	2.3	6.5

実施例 19、比較例 7

図1に示したように、 $Al_2O_3 \cdot TiC$ 基板11上に $Al_2O_3$ 絶縁層12を介して、下側磁気シールド層13として厚さ $2.0\mu m$ の $Ni_{80}Fe_{20}$ 結晶性軟磁性膜を形成した。この下側磁気シールド層13上に、厚さ100nmの $Al_2O_3$ 膜からなる下側磁気ギャップ膜14を介して、スピンバルブGMR膜15を形成した。スピンバルブGMR膜15の構成は実施例1と同一とした。

【0042】この実施例19では、 $Ni_{80}Fe_{20}$ 膜をマ

グネトロンスパッタ法で成膜した。今回はDCスパッタを適用したが、RFスパッタでも可能である。パワー密度は $1.9W/cm^2$ の一定条件で成膜を行った。なお、パワーを減少させても周期を大きくすることができる。Ar圧は0.80Paとした。

【0043】また、本発明との比較例7として、 $Ni_{80}Fe_{20}$ 膜をマグネトロンスパッタ法で成膜する際のAr圧を1.33Paとする以外は同様にして、スピンバルブGMR膜15まで成膜した。



(7)

特開平10-198923

【0044】このように、 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 膜の成膜条件を制御することにより、スピンバルブGMR膜15の下地表面の凹凸周期を制御した。なお、実施例19および比較例7において、 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 膜のX線回折を行ったところ、いずれも(111)面の強い回折ピークがあり、結晶質になっていることを確認した。

【0045】次に、上記したスピンバルブGMR膜15の幅方向両端部に、C o P t合金からなる硬質磁性膜16をそれぞれ形成し、さらにCuからなる一対のリード17を形成した。この上に $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜からなる上側磁気ギャップ膜19を形成し、さらにその上に厚さ $3.0\mu\text{m}$ の $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 膜からなる上側磁気シールド層20を形成して、シールド型GMRヘッド21を作製した。比較例7についても同様とした。

【0046】上述した実施例19および比較例7によるシールド型GMRヘッド21の製造工程において、下側磁気ギャップ膜14を形成した時点で、その表面凹凸をAFMでそれぞれ測定した。そして、実施例1と同様にして、表面凹凸の $R_{\text{aax}}$ および凹凸周期の中心周期 $L$ を求めた。その結果、実施例19では中心周期 $L=75\text{nm}$ 、 $R_{\text{aax}}=5.5\text{nm}$ 、比較例7では中心周期 $L=50\text{nm}$ 、 $R_{\text{aax}}=6.5\text{nm}$ であった。このように、 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 膜についても成膜条件を変えることによって、表面凹凸の周期(中心周期 $L$ )を制御することができる。

【0047】次に、上述した実施例19および比較例7によるシールド型GMRヘッド21において、スピンバルブGMR膜15のフリー層とピン層との層間結合磁界 $H_{\text{in}}$ 、フリー層の困難軸の保磁力 $H_{\text{ch}}$ およびMR変化率を、それぞれ実施例1と同様にして求めた。その結果、比較例7では層間結合磁界 $H_{\text{in}}$ が $22\text{Oe}$ であったのに対して、実施例19では $11.5\text{Oe}$ まで改善された。また、フリー層の困難軸の保磁力 $H_{\text{ch}}$ も $2.5\text{Oe}$ から $0.3\text{Oe}$

まで改善された。MR変化率については $2.9\%$ から $3.3\%$ まで向上していた。

【0048】実施例20、21

上記実施例19において、 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 膜を成膜する際の条件を変化させて、下側磁気ギャップ膜14表面の表面凹凸を、 $R_{\text{aax}}=9.5\text{nm}$ 、凹凸周期の中心周期 $L=175\text{nm}$ (実施例20)、および $R_{\text{aax}}=8.5\text{nm}$ 、凹凸周期の中心周期 $L=480\text{nm}$ (実施例21)とする以外は、それぞれ実施例19と同様にしてGMRヘッドを作製した。 $R_{\text{aax}}$ および中心周期 $L$ は実施例1と同様にして求めたものである。これらGMRヘッドのフリー層とピン層との層間結合磁界 $H_{\text{in}}$ 、フリー層の困難軸の保磁力 $H_{\text{ch}}$ およびMR変化率を、実施例1と同様にして求めたところ、実施例20では $H_{\text{in}}=9.5\text{Oe}$ 、 $H_{\text{ch}}=0.2\text{Oe}$ 、実施例21では $H_{\text{in}}=9.0\text{Oe}$ 、 $H_{\text{ch}}=0.2\text{Oe}$ であった。また、MR変化率については、実施例20では $3.8\%$ と実施例19より増大していた。このように $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 膜を磁気シールド層として用いた場合においても、スピンバルブGMR膜の下地表面の凹凸周期(中心周期 $L$ )を適切に選ぶことによって、GMRヘッドの感度を向上させることができる。

【0049】実施例22~36、比較例8~12

GMR膜の構成をそれぞれ表2に示す構成とする以外は、それぞれ実施例19~21および比較例7と同様にしてGMRヘッドを作製した。これらについて、実施例1と同様にして $R_{\text{aax}}$ および中心周期 $L$ を求めると共に、GMRヘッドのフリー層とピン層との層間結合磁界 $H_{\text{in}}$ 、フリー層の困難軸の保磁力 $H_{\text{ch}}$ およびMR変化率を実施例1と同様にして求めた。それらの結果を表2に示す。

【0050】

【表2】

(8)

特開平10-198923

	Ni80Fe20膜 成膜条件	巨大磁気抵抗効果膜	膜厚 膜厚 (nm)	R <sub>max</sub> (nm)	H <sub>in</sub> (Oe)	74-μ 0Hch (Oe)	MR 率 (%)
	Ar圧(Pa)						
実施例19	0.80	Ta(5nm)/Ni80Fe20(7nm)/Cu(3nm)	75	5.5	11.6	0.3	3.3
実施例20	0.40	/Ni80Fe20(7nm)/Fe50Mn50(10nm)	175	9.5	9.5	0.2	3.8
実施例21	0.13		480	8.5	9.0	0.2	3.4
比較例 7	1.33		50	6.5	22.0	2.5	2.9
実施例22	0.80	Ta(5nm)/Ni80Fe20(7nm)/Co(1nm)	85	6.5	7.5	0.5	5.6
実施例23	0.40	/Cu(3nm)/Co(3nm)/Fe50Mn50(10nm)	190	9.0	10.0	0.5	6.2
実施例24	0.13		390	8.4	9.0	0.4	5.6
比較例 8	1.33		55	7.3	24.0	2.5	5.6
実施例25	0.80	Ta(5nm)/Ni80Fe20(6nm)/Co90Fe10(3nm)	80	8.0	7.5	0.7	6.1
実施例26	0.40	/Cu(3nm)/Co90Fe10(2nm)/Fe50Mn50(15nm)	220	10.5	6.0	0.5	7.3
実施例27	0.13		410	7.0	11.0	0.9	6.3
比較例 9	1.33		50	7.8	17.5	2.8	6.0
実施例28	0.80	Ta(5nm)/Ni80Fe20(6nm)/Co90Fe10(3nm)	90	6.3	8.5	0.5	6.4
実施例29	0.40	/Cu(3nm)/Co(2nm)/Ir25Mn75(6nm)	210	10.0	9.0	0.6	6.8
実施例30	0.13		400	6.8	5.8	0.4	6.9
比較例10	1.33		45	6.0	17.0	2.6	6.0
実施例31	0.80	Co87Zr5.5Nb7.5(10nm)/Ni80Fe20(2nm)	85	8.5	16.0	0.2	7.3
実施例32	0.40	/Co90Fe10(3nm)/Cu(3nm)/Co90Fe10(2nm)	205	12.0	3.0	0.3	8.0
実施例33	0.13	/Ir25Mn75(6nm)	430	7.4	1.5	0.3	7.5
比較例11	1.33		40	8.2	4.0	3.5	7.0
実施例34	0.80	Co87Zr5.5Nb7.5(10nm)/Ni80Fe20(2nm)	75	5.7	1.6	0.2	6.6
実施例35	0.40	/Co90Fe10(3nm)/Cu(3nm)/Co90Fe10(2nm)	205	11.5	3.5	0.1	7.4
実施例36	0.13	/Fe50Mn50(15nm)	380	7.2	3.0	0.1	6.8
比較例12	1.33		45	5.8	18.0	2.1	6.4

表1および表2から、特にMR変化率をも向上させる上で、スピンバルブGMR膜の地下表面の中心周期Lは150nm<L<300nmとすることが望ましいことが分かる。

【0051】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の磁気抵抗効果ヘッドによれば、表面凹凸が大きい結晶性軟磁性膜からなる磁気シールド層上においても、巨大磁気抵抗効果膜の軟磁性や層間結合磁界等の膜特性を向上させることができる。また、磁気抵抗変化率の向上を図ることも

できる。従って、動作特性および感度特性に優れる磁気抵抗効果ヘッドを提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施形態のGMRヘッドの構成を示す断面図である。

【図2】 本発明に適用するGMR膜の一構成例を示す断面図である。

【図3】 本発明に適用するGMR膜の他の構成例を示す断面図である。

(9)

特開平10-198923

【図4】 本発明の実施例1における下地表面の表面凹凸の周波数分析結果を示す図である。

【図5】 従来のシールド型MRヘッドの構成を示す斜視図である。

【符号の説明】

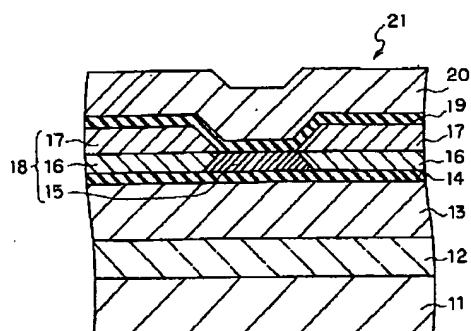
13、20……結晶性軟磁性膜からなる磁気シールド層

14、19……磁気ギャップ膜

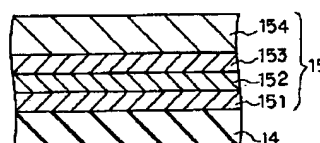
15……GMR膜

17……一対のリード

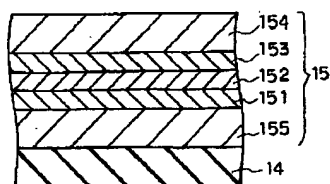
【図1】



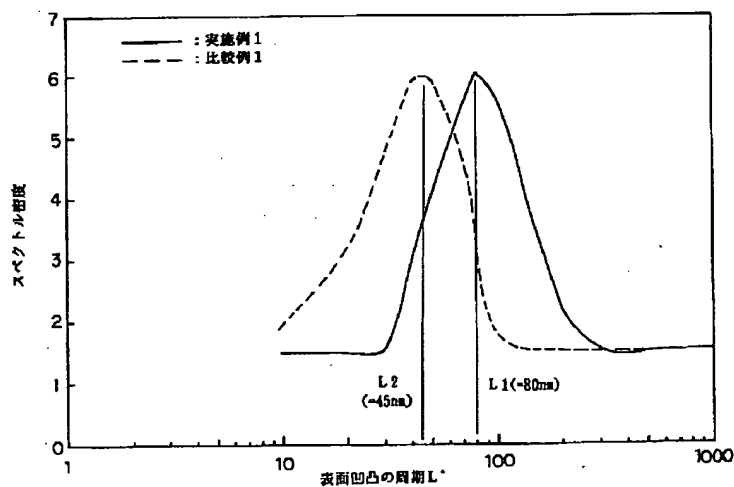
【図2】



【図3】



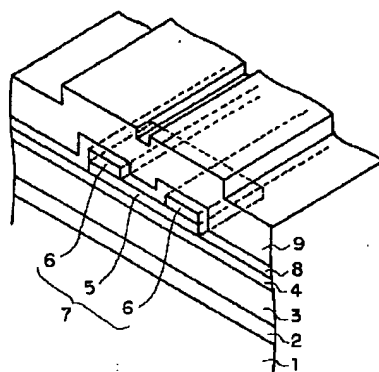
【図4】



(10)

特開平10-198923

【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 岩崎 仁志  
神奈川県川崎市幸区堀川町72 株式会社東  
芝川崎事業所内

(72)発明者 上口 裕三  
神奈川県川崎市幸区堀川町72 株式会社東  
芝川崎事業所内

(72)発明者 佐橋 政司  
神奈川県川崎市幸区堀川町72 株式会社東  
芝川崎事業所内

(72)発明者 川島 宏明  
東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティ  
ーディーケイ株式会社内

(72)発明者 大池 太郎  
東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティ  
ーディーケイ株式会社内

(72)発明者 照沼 幸一  
東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティ  
ーディーケイ株式会社内

(72)発明者 森田 治幸  
東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティ  
ーディーケイ株式会社内